

## 钢渣沥青混凝土研究进展

刘国威<sup>1,2</sup>, 朱李俊<sup>2</sup>, 金强<sup>2</sup>, 韩甲兴<sup>2</sup>

(1. 西安建筑科技大学材料与矿资学院, 陕西 西安 710054; 2. 中冶宝钢技术服务有限公司, 上海 200941)

**摘要:**钢渣沥青混凝土作为沥青混凝土的重要部分之一, 国内外研究者对其开展了众多的研究和应用。本文基于钢渣和沥青混合料的研究进展, 系统介绍和分析了国内外钢渣沥青混凝土的研究和应用情况, 指出了钢渣沥青混凝土具有优异的性能和良好的性价比, 并提出未来应从钢渣的分类、体积膨胀性消除、配合比三个方面开展系统的研究, 确保钢渣沥青混凝土得到大量的应用。

**关键词:**钢渣, 沥青混凝土, 沥青混合料, 路面

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2016.02.002

中图分类号:TD989 文献标志码:A 文章编号:1000-6532(2016)02-0011-06

钢渣是炼钢过程中加入石灰、萤石等造渣溶剂而形成的复合固溶体, 2013年我国的产出量超过9000万t, 综合利用量为2600余万t, 综合利用率不足30%。作为冶炼行业的主要固体副产物, 由于化学成份和后期处理工艺的不同, 钢渣的物化性能有着较大的差异<sup>[1]</sup>, 造成其难以大量综合利用, 大量的钢渣堆存造成了严重的环境污染, 占用了大量的土地, 破坏生态环境。因此, 如何提高钢渣的综合利用水平迫在眉睫。

### 1 国内外钢渣与沥青混合料应用研究进展

随着国内外钢渣堆存量的不断增高, 研究者们开始注重对于钢渣综合利用技术的研究, 其技术成果层次不穷<sup>[2]</sup>。综合来说, 钢渣目前主要用于钢铁冶炼溶剂、农业生产、环保利用、建筑材料等方面。作为钢铁冶炼溶剂使用时, 主要利用不同的钢渣作为烧结原料以及应用钢渣替代生石灰和白云石作为高炉溶剂。在农业生产中, 主要利用钢渣中富含磷和硅元素特征生产磷肥、硅肥<sup>[3-4]</sup>。在环保应用方面, 主要利用钢渣多孔性特征作为吸附材料用于重

金属处理。在建筑材料应用方面, 主要用于制备砖、砌块、混凝土<sup>[5-6]</sup>、公路工程材料<sup>[7]</sup>以及制备微晶玻璃和陶瓷材料<sup>[8-9]</sup>。

沥青混合料作为一种重要的复合材料, 在路面材料中得到了大量的应用<sup>[10-12]</sup>。国内外的学者也对沥青混合料的路用性能如高温稳定性、低温抗裂性、水稳定性、耐疲劳性等多方面开展了研究。彭勇, 孙立军等<sup>[13-14]</sup>研究表明在常温下, 随着级配变粗, 沥青混合料劈裂强度增大; 低温条件下, 随着油石比增大, 沥青混合料劈裂强度和劲度模数增大, 破坏应变减小, 随着空隙率的增大, 沥青混合料劈裂强度减小; 沥青混合料均匀性与劈裂强度没有明显相关性。朱洪洲<sup>[15]</sup>通过不同因素条件下沥青混合料高温车辙试验, 分别以动稳定性和总变形量作为参考序列, 对影响因素进行灰关联分析。朱梦良等<sup>[16]</sup>分析了集料级配、沥青类型、沥青用量、空隙率等材料参数以及压实方法、试验温度等因素对沥青混合料高温稳定性的影响。朱福等<sup>[17]</sup>研究了交通荷载、环境温度、材料类型和水作用(高温浸水和冻融循环)对沥青混合料高温稳定性能的影响。

收稿日期:2015-02-21

作者简介:刘国威(1985-), 男, 从事钢渣固体废弃物资源综合利用研究。

## 2 钢渣沥青混凝土研究进展

随着公路建设的发展,对公路等级的需求也随之提高,沥青路面逐渐在国家路网中发挥着显而易见的优势。在这种背景下,沥青路面的研究也越来越受到国内科研机构和有关高等院校的重视<sup>[18]</sup>。

钢渣作为炼钢工业产生的废渣,生产率约为粗钢产量的 10%~15%,是冶炼行业的主要固体副产物,其严峻的综合利用形势使各国对钢渣资源化利用空前重视,因此,研究钢渣的特性,开发新的综合利用途径具有重要的意义<sup>[19]</sup>。

钢渣的成分随着工艺的不同会有些变动,利用其化学特性进行综合利用的相关研究也存在一定的困难<sup>[20]</sup>。在物理特性方面,国内外的众多研究成果表明钢渣具有出色的物理力学性质,利用其物理特性开发出的综合利用技术与产品已成为钢渣综合利用最主要的途径<sup>[21]</sup>。总体来说,它的主要物理特性集中表现在以下几个方面:(1)良好的棱角性:钢渣经破碎、筛分、磁选处理后,颗粒多呈不规则状,具有良好的内摩擦嵌挤力,而内摩擦嵌挤力是评判道材、集料适用性的重要依据;(2)密实度高:钢渣中富含铁,其压缩孔隙结构使其成为一种较为密实的材料,堆密度 BD 超过  $1900 \text{ kg/m}^3$ ,大于大部分天然砂石,比重大确保了钢渣作为路面材料或者混凝土掺合料的抗碾压强度和有效耐久性<sup>[22]</sup>;(3)磨光值较高,PSV 值位于 60~65 之间,能提供好的抗滑路面,保证车辆舒适安全行驶<sup>[23]</sup>;(4)抗水性和粘附性好:钢渣吸水率不到 2%,与其他天然砂石相近。且颗粒级配形状好,呈碱性,表面多孔收缩性小,与沥青有良好的粘附性<sup>[24]</sup>;(5)良好的抗冻性:硫酸镁稳定性试验 MSS 要求材质浸酸干燥后体收缩不超过 12%,钢渣测定值很小。有些国家地区采用更严格的芒硝(硫酸钠)试验,钢渣的收缩率仍很小。良好的收缩率保证了钢渣沥青路面在霜冻情况下不宜产生沥青剥落现象。

上述研究成果已表明钢渣具有的耐磨、吸水性低、水硬性好、多棱角等特点,是一种潜在的具有优良路用性能的建筑材料,可在公路建设中充分发挥其优势。与沥青碎石混合料进行比较,钢渣具有更

广阔的应用前景<sup>[25]</sup>。因此利用钢渣替代原先的玄武岩等优质石料成为沥青混凝土的研究热点,一方面,减少玄武岩等石料的需求量,降低工程造价,具有显著的经济效益和社会效益;另一方面,用钢渣替代(或部分替代)优质匮乏的石料。实现了废旧资源的再生利用,降低工程成本,减少对特定材料资源的过度开发,有利于保护生态环境和地区经济的可持续发展<sup>[26]</sup>。

### 2.1 国外研究进展

国外钢渣沥青混凝土应用最早出现在 20 世纪 60 年代末,美国和加拿大用钢渣沥青混凝土联合修建了试验段来检验道路稳固性,从使用的效果来看,钢渣沥青路面的质量和耐久性都毫无问题,而且证明钢渣比用天然石料的抗滑性能还要好<sup>[27]</sup>。20 世纪 70~80 年代中期,美国马里兰州巴尔的摩市用沥青混凝土铺筑了许多人行道。从 1990 年到 1995 年,纽约市钢渣沥青混凝土使用总量达到了  $2.5 \times 10^5 \text{ t}$ 。随后,在北欧的丹麦、挪威、瑞典以及荷兰、奥地利等国,钢渣沥青混凝土的发展由于受到美国、加拿大的影响,应用相当广泛,先后在欧洲很多国家应用发展起来,并成为风靡欧洲的高等级沥青路面。

#### 2.1.1 钢渣沥青混凝土基本性能研究

随着钢渣沥青混凝土在欧美的广泛应用,研究者也从不同的角度研究和评价了钢渣应用于沥青混凝土的性能及影响。Marco Pasetto<sup>[28]</sup>使用两种不同类型的电炉渣代替天然骨料应用于柔性路面组成中的基层和路面基层沥青混凝土,通过旋转压实试验、永久变形试验、劲度模量试验,测试其疲劳和间接拉伸强度。试验结果表明,所有含电炉渣的混合料相对于天然骨料都表现出了更好的机械性能,并且满足意大利公路部分技术标准的验收条件,因此,其可以在公路建设中得到使用。Stock<sup>[29]</sup>研究了钢渣沥青混凝土路面的抗滑性能,得益于钢渣粗糙的表面,钢渣沥青混凝土具有优良的抗滑性能。采用 14 mm 的钢渣碎石封层,在相同的磨光值的情况下,其抗滑性能要比天然石料的同等级封层的性能更好。Ali<sup>[30]</sup>分别将电炉钢渣作为粗集料和细集料制备沥青混凝土。通过测试项目包括弹性模量、动态蠕变、低温劲度模量与水稳性验证沥青路面的承载能力、

抗车辙能力、抗低温开裂能力和抗水损害能力。试验结果证明,钢渣沥青混凝土的这些路用性能全面超过同级配的石灰石沥青混凝土。Airey<sup>[31]</sup>利用高炉钢渣作为粗集料、转炉渣作为细集料、石灰石矿粉作为填料的密级配沥青混合料和沥青玛蹄脂(SMA-13)型沥青混合料的性能,通过评价劲度模量、蠕变特性、疲劳特性以及耐久性等性能,发现钢渣作为集料使沥青混凝土的劲度提高了接近20%,永久变形也大幅下降,疲劳性能也并未减弱,抗老化性能也有相应的提高。

### 2.1.2 钢渣沥青混凝土环境与社会效益研究

在钢渣沥青混凝土表现出优异性能的同时,研究者们开始注意到钢渣应用于沥青混凝土的环境影响、经济效益、工程实际应用等问题。Shen<sup>[32]</sup>特别研究了钢渣沥青路面的噪音问题。结果表明钢渣的应用可有效降低沥青路面的噪音。Perviz Ahmedzade<sup>[33]</sup>研究了钢渣作为粗骨料利用量的多少对热拌沥青混凝土性能的影响,利用两种类型的沥青水泥(AC-5, AC-10)和粗骨料(石灰石;钢渣)制备四种不同的沥青混合料,以此来制备马歇尔试件并确定最佳沥青含量。所有混合料的机械特性由马歇尔稳定度、间接拉伸劲度模量、蠕变劲度、间接拉伸强度测试结果进行评价。试样的电灵敏度根据ASTMD 257-91进行研究。可以观察到,钢渣作为粗骨料可以提高沥青混凝土的机械性能。而且,体积电阻值测试结果表明钢渣混合料的导电率比石灰石混合料更好。Long-Sheng Huang<sup>[34]</sup>利用转炉渣作为骨料的沥青混凝土路面在不同的压实号码下进行静态的、动态的以及半静态的震动滚动试验,评价现场压实号码、滚动方法、冷却时间对转炉渣沥青混凝土的影响效果。这项研究结果表明,如果路面是通车的,且同时考虑转炉渣沥青混凝土的强度增长和稳定性,路面应先振动滚动约3~4个来回,其次是静态滚动完成路面施工压实。Noureldin<sup>[35]</sup>将钢渣粗骨料、天然砂细集料配制成AC-20型密级配沥青混合料,采用马歇尔的标准设计方法,进行马歇尔稳定度、间接拉伸强度、劲度模量以及垂直应变测试。结果表明,采用该组成的钢渣沥青面层的厚度可以有效降低,从而节约建造成本。

### 2.1.3 钢渣沥青混凝土问题研究

在钢渣沥青混凝土研究如火如荼的同时,钢渣膨胀性的问题成为研究者的难题。由于炼钢出渣时间缩短,投入的石灰过量,钢渣含有极易膨胀的游离氧化钙、自由氧化镁以及多种氧化物和矿物质,具有与硅酸盐相似的物化成分,在一定的环境条件下经过电解水化作用后,使钢渣具有不稳定性。Kandhal<sup>[36]</sup>通过采用钢渣取代石灰石细集料制备密级配混合料研究钢渣沥青混凝土的膨胀性能,结果证明,钢渣细集料部份的膨胀率与其“同源”的粗集料的膨胀率之间有较好的相关性,氧化镁极易与金属氧化物形成固溶体而失去活性,游离氧化钙是造成钢渣体积膨胀的主要因素。所以钢渣的回收利用在道路工程中目前仅采用较低游离氧化钙、自由氧化镁的品种,特别是游离钙含量要尽可能的低。

### 2.1.4 钢渣沥青混凝土政策保障与工程应用研究

在钢渣沥青混凝土实际应用和政策保障方面,法国的公路面层的沥青路面防滑材料,有的全部用钢渣,有的将钢渣和石灰石混合使用,都取得了成功,并且得到了大量应用。日本钢铁协会也专门制订了《使用钢铁渣的沥青路面设计施工手册》和《钢渣路面基层设计施工手册》。根据钢渣的特点,已成功将钢渣用于路基上的隔离层和路面层,应用表明转炉渣和沥青拌制的混合料用于寒冷区域或交通荷载大的路面,有明显的耐磨性和耐流动性,其性能优于天然石料。西德的联邦9号公路,用钢渣沥青混凝土铺筑,开放交通以后一直很好。比利时公路局颁发了用钢渣拌制沥青混合料,铺筑公路的有关技术文件<sup>[37]</sup>。

总之国外在利用钢渣沥青混凝土的研究方面积累了大量的经验,充分发挥了钢渣的机械性能的优点,而且在环境影响、经济效益、工程实际应用、政策保障、技术规范设定等方面积累了丰富的经验。国外钢渣已经越来越多的使用到路面材料铺装中。

## 2.2 国内研究进展

国内对钢渣在沥青混凝土中的应用研究起步稍晚,但在基于国外研究的基础上,发展比较迅速,主要集中在钢渣在不同沥青混凝土路面结构型式中的应用、钢渣潜在膨胀性及其消除、钢渣对沥青混凝土

重金属浸出影响等方面。

### 2.2.1 钢渣沥青混凝土性能、环境影响研究

吴少鹏<sup>[38]</sup>探讨了钢渣作为骨料在 SMA 中的应用,对沥青混合料的性能进行了评估。通过利用 X 射线衍射、扫描电子显微镜和汞压入法来研究骨料的成分、结构和聚集体形态,同时对钢渣作为骨料的 SMA 混合料和玄武岩作为骨料的 SMA 混合料的性能进行对比分析。研究结果显示,钢渣作为骨料的 SMA 混合料的体积特性满足相关规范,且 7d 膨胀率小于 1%。相对于玄武岩,利用钢渣作为骨料的 SMA 混合料的高温性能和低温抗开裂性能均得到改善。使用中的钢渣 SMA 路面在粗糙度和 BPN 表面系数方面表现出了优异的性能。陈南重点研究了钢渣与沥青的粘附性能。采用水煮法研究了不同时间下粘附性的衰减度,结果表明,钢渣的高碱度使其粘附性衰减度小,而且沥青中的羟基会与钢渣表面的碳氧键互相吸引,使得钢渣表面改性而促使沥青更牢固的吸附于其上<sup>[39]</sup>。Yongjie Xue<sup>[40]</sup>转炉渣的物理和微特性、钢渣沥青材料和路面性能这两点来讨论转炉渣作为骨料在沥青路面中应用的可行性,通过 XRD、SEM、TG 和压汞仪等分析和测试方法研究了转炉渣的机械化学和物理变化,采用转炉渣为原料设计钢渣 SMA 混合料,通过传统的车辙试验、浸泡轮距和改性 Lottman 试验测试高温稳定性和耐水性能,以单轴压缩试验和间接拉伸试验评价其低温抗裂性能和疲劳特性。结果表明,试验路面可以与传统的沥青路面相媲美,甚至在某些方面优于后者。该研究成果使钢渣可以在更广泛的领域得到应用,特别是在沥青混合料摊铺工程这样一个广阔的领域中的应用具有重要的意义。章照宏<sup>[41]</sup>提出了 3 种用于沥青混凝土的钢渣处理工艺,采用陈化处理、防水抗油剂浸泡处理、研磨处理 3 种工艺研究了钢渣替代天然集料用于沥青混凝土的可行性,评价了处理后钢渣沥青混凝土的改善效果,结果表明经过处理后钢渣的抗水损害性能有不同程度的提高。张春刚<sup>[42]</sup>在沥青混合料中通过使用钢渣替代石料作为骨料,验证了沥青混合料的重金属离子浸出效果,通过使用 TCLP 方法,探讨了钢渣及钢渣沥青混合料中重金属浸出行为以及沥青种类对重金属

浸出的影响。结果表明,钢渣中 Cu、V、Zn、As、Mn 浸出浓度均超出标准。3 种不同沥青制成的 AC-16 沥青混合料中 Cu、V、Zn、As、Mn 浸出浓度相差不大,说明沥青种类对重金属浸出影响不大。Cu、Zn 浸出浓度在标准之内,As、Mn 浸出浓度超出标准。

### 2.2.2 钢渣沥青混凝土应用

大量使用钢渣沥青混合料来摊铺高等级柔性路面的有效实践不多。在 20 世纪 60 年代曾经进行过利用转炉钢渣铺筑道路基层和沥青面层的试验,但在之后的相当长一段时间里进展不大。2004 年仙桃天门一级公路汉江大桥桥面铺装采用了武钢钢渣作为主集料的 SMA 沥青混凝土。李灿华、魏嶺<sup>[43]</sup>等人对这三条试验段服役八年后的路面性能做了跟踪检测。检测结果表明这些钢渣沥青路面服役性能良好,抗滑能力衰减度比同类型的石灰石路面小得多,路面结构并未出现大的损坏,显示出较好的耐久性能。2009 年为迎接国庆六十周年北京长安街大修工程中,用钢渣替代玄武岩用于沥青路面表层,为钢渣沥青混凝土的实际应用起到了示范作用。总之,道路建设需要消耗大量的原材料,而钢渣出色的棱角性及力学性能可以替代天然石料,阻碍钢渣在国内应用的最大问题是它的潜在体积膨胀性。

## 3 结 论

钢渣作为一种常规的冶炼副产物,因其具有密实度高、良好的抗水性、粘附性与棱角性等特点,经破碎、筛分后被大量作为混凝土集料使用,针对钢渣及其对沥青混凝土性能的影响一直都是热点问题。国内外的研究结论也表明,钢渣用于沥青混合料具有良好的基础性能,并且对重金属浸出等环境因素有着积极的效果,对社会效益和环保效益有着重要的作用。钢渣沥青混凝土也从实验室研究专项了产业化应用,因为其优异的性能以及良好的性价比,它将在沥青混凝土中占据越来越重要的地位。

总体来说,随着我国环保要求的不断提高,天然矿石资源的开发将受到严格的限制,普通沥青混凝土面临着日益严峻的形势,钢渣沥青混凝土作为未来沥青混凝土发展的重要方向之一。但是,我们也要注意,由于钢渣作为一种炼钢的副产品,其化学性

质和物理特性存在着一定的不确定性,钢渣沥青混凝土还需要从以下方面开展系统的研究,确保钢渣沥青混凝土得到良好的应用:

(1) 钢渣的分类。国内外各大钢厂由于工艺的不同,钢渣的性质也存在一定的区别,未来应该建立更加详细的钢渣分类体系,明确沥青混凝土中可应用的钢渣种类,确保各类钢渣得到合理的利用;

(2) 钢渣的体积膨胀性。由于炼钢的特性,钢渣中存在一定的游离氧化钙和氧化镁,虽然有一定研究成果表明可以通过一定的工艺手段去除钢渣中不稳定的因素,但是还是缺乏经济效益明显、推广度高的工艺和方法,未来应该从原料的源头处理、二次处理以及产品开发等多个方面开展多层次的研究,降低钢渣体积膨胀性带来的不稳定因素;

(3) 钢渣的吸附性。众多研究已表明钢渣有着多孔性的特征,这就有可能造成钢渣沥青混凝土中钢渣吸附更多的沥青,造成沥青混凝土中沥青用量的增加,影响沥青混凝土的工程推广应用。未来,研究合理的配合比将成为研究者们需要重视的问题。

## 参考文献:

- [1] 李景云. 钢铁企业含铁废弃物资源化利用的探讨[J]. 中国钢铁业, 2013(4): 15-18.
- [2] 张劲, 陆文雄. 钢渣的利用及其应用研究进展[J]. 粉煤灰综合利用, 2014(2): 46-50.
- [3] ToPkaya Y, Sevinc N, Gunaydm A. Slag treatment at Kar-demir integrated iron and steel works. International journal of mineral processing, 2004, 74(1-4): 31-39.
- [4] 陈盛建, 高宏亮. 钢渣综合利用技术及展望[J]. 南方金属, 2004(5): 1-4.
- [5] 张亮亮, 卢忠飞, 阎文, 等. 使用风淬粒化钢渣代替天然砂配置道路混凝土[J]. 商品混凝土, 2008(5): 17-20.
- [6] 杨刚, 王幼琴, 张健, 等. 高强高透水钢渣混凝土制品及其制备方法[P]. 中国专利: CN102173671A, 2011-09-07.
- [7] Dunster A. The use of blast furnace slag and steel slag as aggregates[C]. 2002.
- [8] 张乐军, 陆雪, 赵莹. 钢渣粉煤灰微晶玻璃的研制[J]. 新型建筑材料, 2007(1): 7-9.
- [9] 赵立华, 苍大强, 刘璞, 等. CaO-MgO-SiO<sub>2</sub> 体系钢渣陶瓷材料制备与微观结构分析[J]. 北京科技大学学报, 2011(8): 995-1000.
- [10] 李占甫, 张小丹. 沥青混合料组成的影响因素与应用[J]. 公路与汽运, 2013(4): 112-115.
- [11] 张素云. 沥青混合料组成对路用性能的影响[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2011, 35(3): 471-475.
- [12] 李洪斌, 杨彦海. 纤维稳定剂对沥青混合料路用性能的影响分析[J]. 中外公路, 2005, 25(6): 113-115.
- [13] 彭勇, 孙立军, 石永久, 等. 沥青混合料劈裂强度的影响因素[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2007, 37(6): 1304-1307.
- [14] 彭勇, 孙立军, 石永久, 等. 沥青混合料剪切强度的影响因素[J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2007, 37(2): 330-333.
- [15] 朱洪洲, 黄晓明. 沥青混合料高温稳定性影响因素分析[J]. 公路交通科技, 2004, 21(4): 1-3.
- [16] 朱梦良, 赵静. 材料参数对沥青混合料高温稳定性的影响[J]. 长沙理工大学学报, 2007, 4(1): 18-23.
- [17] 朱福, 战高峰. 沥青混合料耐久性分析[J]. 吉林建筑工程学院学报, 2010, 27(3): 25-28.
- [18] 王哲人. 沥青路面工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.
- [19] 单志峰. 国内外钢渣处理技术与综合利用技术的发展分析. 工业安全与防尘, 2000(2): 27-32.
- [20] Gondal M, Hussain T, Yam an i Z, et al. Study of hazardous metals in iron slag waste using laser induced breakdown spectroscopy[J]. Journal of Environmental Science and Health Part A, 2007, 42(6): 767-775.
- [21] 温金保. 钢渣的机械力化学效应研究[D]. 南京工业大学, 2003. 4.
- [22] 陈锋锋, 黄晓明. 集料有效密度的研究[J]. 中外公路, 2002(2): 1.
- [23] 宋坚民. 钢渣沥青混合料探讨[J]. 中国市政工程, 2001.
- [24] 施惠生, 郭蕾. 钢渣对硅酸盐水泥水化硬化的影响研究[J]. 水泥技术, 2004(2): 21-24.
- [25] 王力野. 钢渣沥青混合料的马歇尔试验研究[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2011.
- [26] 薛永杰. 钢渣沥青玛蹄脂混合料制备与性能研究[D]. 武汉理工大学, 2005.
- [27] Brosseaud Y, Bellanger J, Gourdon J, Thinner and Thinner Asphalt Layers for the Maintenance of French Roads.

- Transportation Research Record TRR1334, 1992.
- [28] Marco Pasetto, Nicola Baldo. Experimental evaluation of high performance base course and road base asphalt concrete with electric arc furnace steel slags [J]. Journal of Hazardous Materials, 2010, 181: 938-948
- [29] Stock A, Ibberson CM, Taylor I, et al. Skidding characteristics of pavement surfaces incorporating steel slag aggregates [J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1996, 1545(1): 35-40.
- [30] Ali L, Fiaz A. Use of Fly Ash Along with Blast Furnace Slag as Partial Replacement of Fine Aggregate and Mineral Filler in Asphalt Mix at High Temperature [C]. ASCE. 2009.
- [31] Airey GD, Collop AC, Thom NH, et al. Mechanical performance of asphalt mixtures incorporating slag and glass secondary aggregates [C]. 2004.
- [32] Shen DH, Wu CM, Du JC, et al. Laboratory investigation of basic oxygen furnace slag for substitution of aggregate in porous asphalt mixture [J]. Construction and Building Materials, 2009, 23(1): 453-461.
- [33] Perviz Ahmedzade, Burak Sengoz. Evaluation of steel slag coarse aggregate in hot mix asphalt concrete [J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 165: 300-305.
- [34] Long-Sheng Huang, Deng-Fong Lin, Huan-Lin Luo, Ping-Chuang Lin. Effect of field compaction mode on asphalt mixture concrete with basic oxygen furnace slag [J]. Construction and Building Materials, 2012, 34: 16-27.
- [35] Noureldin AS, McDaniel RS. Performance Evaluation of Steel Furnace Slag-Natural Sand Asphalt Surface Mixtures [C]. 2000.
- [36] Kandhal PS, Mallick RB. Effect of mix gradation on rutting potential of dense-graded asphalt mixtures [J]. Transportation Research Record, 2001, (Compendex): 146-151.
- [37] Rustu S, Kalyoneu. Iron and steel slag. U. S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2003, 92-93.
- [38] Shaopeng Wu, Yongjie Xue, Qunshan Ye, Yongchun Chen. Utilization of steel slag as aggregates for stone mastic asphalt (SMA) mixtures [J]. Building and Environment, 2007, 42: 2580-2585.
- [39] 陈南, 薛明. 钢渣与沥青粘附性的评价 [J]. 粉煤灰, 2008(05): 12-14.
- [40] Yongjie Xue, Shaopeng Wu, Haobo Hou, Jin Zha. Experimental. Investigation of basic oxygen furnace slag used as aggregate in asphalt mixture [J]. Journal of Hazardous Materials, 2006, B138: 261-268
- [41] 章照宏, 刘代雄, 朱国军, 等. 沥青混凝土用钢渣集料预处理方法研究 [J]. 公路交通科技, 2014(3): 103-105.
- [42] 张春刚, 吴少鹏, 昌凯. 钢渣沥青混凝土中重金属离子浸出实验研究 [J]. 建材世界, 2012, 6(33): 48-51.
- [43] 李灿华, 刘思, 陈琳, 等. 武钢钢渣用作 AC-10I 型细粒沥青砼集料的研究 [J]. 武钢技术, 2011(03): 34-36.

## Research Progress of Steel Slag Asphalt Concrete

Liu Guowei<sup>1,2</sup>, Zhu Lijun<sup>2</sup>, Jin Qiang<sup>2</sup>, Han Jiaxing<sup>2</sup>

(Collage of Materials and Mineral Resources of Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an, Shaanxi, China; MCC Baosteel Technology Services Co., Ltd., Shanghai, China)

**Abstract:** With steel slag asphalt concrete as an important part of the asphalt concrete, a large number of researches and applications of it have been carried out by domestic and foreign researchers. In this paper, we systematically introduced and analyzed the research and application of domestic and foreign steel slag asphalt concrete based on the research progress of steel slag and asphalt mixture, and we pointed out that the steel slag asphalt concrete has excellent performance and good price. We also proposed that we should conduct systematic research on the classification of steel slag, elimination of volume expansion, and mixture ratio in the future to make sure that steel slag asphalt concrete will have large numbers of applications.

**Keywords:** Steel slag; Asphalt concrete; Asphalt; Pavement